

SONAR DE VARREDURA LATERAL E SÍSMICA DE ALTA RESOLUÇÃO APLICADOS NO ESTUDO DE ECOFÁCIES NA BAÍA DE VITÓRIA – ES

Paulo Veronez Júnior¹, Alex Cardoso Bastos¹, Bruno Furtado Pizzin¹, Reginaldo Dalmaschio Gava¹,
Valéria da Silva Quaresma¹ e Cleverson Guizan Silva²

Recebido em 22 abril, 2009 / Aceito em 11 setembro, 2009
Received on April 22, 2009 / Accepted on September 11, 2009

ABSTRACT. High resolution geophysical surveys and sediment sampling were undertaken along Vitória Bay in order to acoustically map the seabed. Integrated analysis of sidescan sonar and seismic records allowed the recognition of 4 distinct echo facies. Echo facies Type 1 is associated with no penetration of the acoustic signal and high backscatter sonograms with bedforms. This echo facies is related to sandy beds. Echo facies Type 2 is mainly associated with sandy mud bottoms, showing a high penetration of the acoustic signal and low backscatter sonograms. Echo facies Type 3 is related to reflection free deposits, commonly associated with muddy beds or fluid muds. Echo facies Type 4 represents rocky beds. These facies are related to different types of seabed and can be used to interpret the main sedimentary processes acting along the bay.

Keywords: echo facies, sidescan sonar, subbottom profilers.

RESUMO. Levantamentos geofísicos de alta resolução e amostragem de sedimentos de fundo foram realizados na Baía de Vitória tendo como objetivo mapear o fundo marinho acusticamente. A análise integrada de registros de sonar de varredura lateral e sísmica rasa permitiu o reconhecimento de 4 ecofácies distintas. A ecofácies Tipo 1 está associada a fundos sem penetração do sinal acústico e com sonogramas de alta intensidade de retorno do sinal e dunas subaquosas, onde areias são predominantes. A ecofácies Tipo 2 ocorre comumente em fundos areno-lamosos que apresentam alta penetração do sinal acústico e baixa intensidade do sinal nos sonogramas. A ecofácies Tipo 3 é caracterizada por uma penetração transparente do sinal até encontrar um refletor de alta amplitude e sem penetração, sendo típica de fundos lamosos. A ecofácies Tipo 4 está diretamente associada a fundos rochosos. A análise da distribuição destas ecofácies permite a interpretação dos principais processos sedimentares que atuam ao longo da baía.

Palavras-chave: ecofácies, sonar de varredura lateral, perfilador de subfundo.

¹Universidade Federal do Espírito Santo, Dept. Oceanografia e Ecologia, Av. Fernando Ferrari, 514, Campus Goiabeiras, 29060-900 Vitória, ES, Brasil. Tel.: (27) 3335-2878; Fax: (27) 3335-2500 – E-mails: paulovjd@yahoo.com.br; alex@dern.ufes.br

²Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geofísica Marinha, Departamento de Geologia, LAGEMAR, Instituto de Geociências/UFF, Av. General Milton Tavares de Souza, s/n, 4º andar, Campus da Praia Vermelha, Gragoatá, 24210-346 Niterói, RJ, Brasil. Tel.: (21) 2629-5930/2629-5932; Fax: (21) 2629-5931 – E-mail: cleverson@igeo.uff.br

INTRODUÇÃO

A geofísica já provou ser uma importante ferramenta para a investigação indireta do fundo e subfundo marinho pela qualidade de seus resultados e pela facilidade de aplicação de seus métodos (Morang et al., 1997; Ayres Neto, 2000; Quaresma et al., 2000; Souza, 2006; Paolo & Mahiques, 2008).

A ocorrência e distribuição de padrões sonográficos e de ecocaráteres sísmicos de alta frequência têm relação estreita com a distribuição das características sedimentares do ambiente em questão (Morang et al., 1997; Ayres Neto, 2000; Souza 2006). O termo fácies acústicas ou ecofácies pode ser definido como sendo o conjunto de características físicas do eco refletido, sendo resultado da interação entre o fundo marinho e o pulso da energia usada na fonte acústica de alta resolução. Neste caso, o retorno do eco é produzido pelo contraste de impedância acústica entre os meios, o que está diretamente ligado ao tipo de material de fundo (granulometria, compactação, etc.), as camadas sedimentares em subsuperfície (coeficiente de reflexão, espessura das camadas, interferência entre as camadas, reflexões internas múltiplas, etc.) e a morfologia do fundo (difrações, extensão das camadas, variação lateral no espaçamento das camadas, etc.). Importante não confundir o termo ecofácies com sismofácies. As sismofácies são definidas por Mitchum et al. (1977) como sendo uma unidade tridimensional, arealmente definida, constituída por reflexões sísmicas cujos parâmetros diferem das fácies adjacentes. Neste contexto, sismofácies são usadas na interpretação sismoestratigráfica.

Portanto, a correlação entre os padrões apresentados pelos dados geofísicos e a distribuição sedimentar permite selecionar padrões sonográficos e ecocaráteres sísmicos que retratam sedimentos e processos sedimentares de características semelhantes (Damuth, 1975; Damuth, 1980; Morang et al., 1997; Ayres Neto, 2000; Quaresma et al., 2000; Belo et al., 2002; Catanzaro et al., 2004; García-García et al., 2004; Souza, 2006).

Desta forma, este trabalho objetiva relacionar a distribuição das características dos sedimentos de fundo da Baía de Vitória com dados acústicos de sísmica de alta resolução (10kHz) e sonar de varredura lateral. Diferentes tipos de ecocaráteres e de padrões sonográficos podem então ser definidos de acordo com seus padrões de reflexão (fácies acústicas) e os mesmos serem correlacionados com o tamanho e a textura dos sedimentos de fundo.

Área de estudo

A Baía de Vitória é parte de um complexo sistema estuarino localizado na região central do estado do Espírito Santo. Este sistema

é composto pelas Baías de Vitória e do Espírito Santo (Fig. 1). Apesar de outros cursos d'água contribuírem para o aporte fluvial desse sistema estuarino, o rio Santa Maria da Vitória (RSMV) é o principal aporte fluvial deste ambiente, desenvolvendo sua foz em delta.

Como a Baía de Vitória abriga um complexo portuário de grande porte, além de uma malha urbana densa, ela está sujeita aos impactos diretos destas atividades, como o despejo de esgoto e de resíduos, dragagens e aterros. Segundo Nunes (2005), as alterações antrópicas dos contornos do sistema estuarino da Baía de Vitória provocaram a perda de 40% da área de manguezal e 10% da área de espelho d'água deste ambiente. Estes fatores associados às constantes dragagens e ao domínio morfológico da baía contribuem para que a distribuição sedimentar da Baía de Vitória apresente várias particularidades (D'Agostini, 2005; Bastos et al., 2007; Veronez Jr., 2009).

METODOLOGIA

O trabalho foi desenvolvido de forma integrada, onde se relacionou a distribuição das características sedimentares com os levantamentos geofísicos através da elaboração de mapas e sobreposição destes, seguida de análise e correlação visual. Nestes mapas se verificou as correlações existentes entre sedimento e registros geofísicos (sonar e sísmica), agrupando os padrões sonográficos e os ecocaráteres sísmicos de acordo com as características do fundo.

Neste estudo, a interpretação dos dados geofísicos foi realizada usando o programa SonarWizMAP-4, da Chesapeake Technology, e teve ênfase na característica do eco assinado (ecocaráter).

Granulometria

A análise da distribuição sedimentar de fundo da Baía de Vitória foi realizada através da coleta de 101 amostras superficiais de fundo. As amostras foram peneiradas a seco de 0,5 em 0,5 phi, sendo que a fração lamosa (silte e argila) foi separada a úmido em peneira de 4 phi. Para a análise estatística das amostras foi utilizado o pacote estatístico GRADISTAT (Blott & Pye, 2001), que calculou os parâmetros estatísticos segundo a metodologia proposta por Folk & Ward (1957).

Sonar de varredura lateral

Foram obtidas aproximadamente 25km de linhas sonográficas sendo que a navegação foi realizada pelo canal principal da baía desde a sua desembocadura até o seu limite interior, visando cobrir a extensão longitudinal do estuário, a fim de observar as principais variações captadas pelos sonogramas. O imageamento do

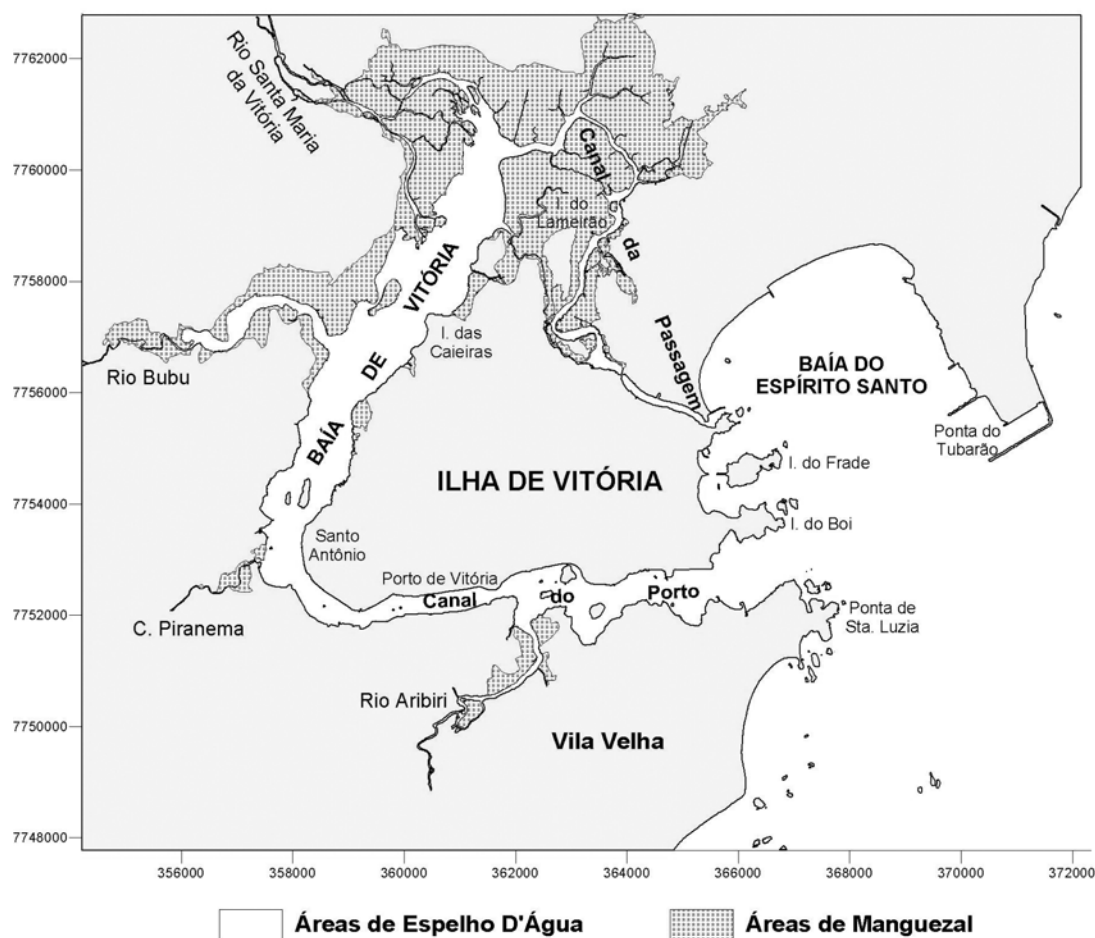


Figura 1 – Localização do sistema estuarino, composto pela Baía de Vitória e pela Baía do Espírito Santo. Mapa plotado em UTM datum WGS-84.

fundo da Baía de Vitória foi obtido utilizando-se um sonar de varredura lateral Modelo Edgetech 4100 com towfish 272TD, operando com uma frequência de 500kHz e varredura variando de 100 a 50m. Todos os dados sonográficos foram obtidos digitalmente e já integrados com posicionamento por GPS, já que o erro observado no posicionamento deste sistema foi considerado compatível com os objetivos do trabalho. Os padrões sonográficos foram classificados de acordo com caráter acústico, microtopografia e/ou morfologia do fundo. A nomenclatura dos padrões seguiu as características morfológicas e texturais do leito estuarino, bem como uma caracterização da intensidade do sinal acústico de retorno.

Sísmica de alta frequência

O levantamento sísmico foi realizado concomitantemente com o sonográfico, utilizando-se um perfilador de subfundo Stratabox 10kHz, fonte ressonante de alta frequência. Esta fonte sísmica foi escolhida devido à profundidade reduzida da área de estudo

e pelo detalhamento oferecido pela mesma das primeiras camadas dos sedimentos, quando este penetra no leito marinho, oferecendo as condições necessárias para conclusão de outros objetivos do projeto. A malha de perfilagem sísmica consistiu de perfis transversais e longitudinais ao longo do eixo principal da baía de Vitória, perfazendo um total de cerca de 150 km de levantamento sísmico. Na navegação e posicionamento das linhas de levantamento sísmico foi utilizado um sistema GPS. O ecocaráter foi classificado em função do caráter acústico, microtopografia e/ou morfologia do fundo e subfundo, como proposto por Damuth (1980).

RESULTADOS

A seguir estão expostos os mapas elaborados a partir dos resultados granulométricos e de interpretação geofísica, onde se observa a distribuição das propriedades sedimentares, dos padrões sonográficos e dos ecocarateres correspondentes.

O mapa de distribuição do diâmetro médio dos sedimentos (Fig. 2) mostra que os sedimentos do fundo da Baía de Vitória são predominantemente lamosos quanto à classificação da granulometria média, porém, com distribuição irregular. As áreas mais arenosas estão relacionadas aos estreitamentos da baía, aos afloramentos do embasamento cristalino e a concentração de restos de organismos, como conchas e/ou fragmentos das mesmas. É perceptível a ocorrência de três faixas arenosas na Baía de Vitória. Estas faixas são observadas no mapa (Fig. 2) através do aumento da granulometria média no limite norte da baía (região do delta do RSMV), junto à inflexão geomorfológica da baía e na área da sua desembocadura, ao sul da Ilha do Boi.

A distribuição das ecofácies foi descrita a partir da integração dos padrões sonográficos e ecocaráteres sísmicos. A distribuição de padrões sonográficos se mostra coerente com a distribuição sedimentar na maior parte da baía (Fig. 3), sendo possível identificar 4 padrões sonográficos: Fundo Homogêneo de Baixa Intensidade (associado a sedimentos arenosos e lamosos), Dunas Subaquosas (associado a sedimentos arenosos), Formas de Fundo Irregulares (associado a sedimentos com maior teor de lama) e Afloramentos Rochosos (associado aos afloramentos do embasamento rochoso) (Veronez Jr., 2009). Contudo, o padrão sonográfico Fundo Homogêneo de Baixa Intensidade (Fig. 4) não apresentou relação com uma única textura sedimentar, estando o mesmo associado a sedimentos lamosos a areno-lamosos. Porém, este padrão é o mais abundante na área estudada, sendo encontrado ao longo de todo o sistema estuarino, assim como ilustra a Figura 3.

O padrão Dunas Subaquosas (Fig. 5) é caracterizado por um padrão intercalado de baixa e alta intensidade onde se observa as grandes feições de fundo, e apresenta distribuição restrita aos estreitamentos e a inflexão da baía, onde os efeitos da morfologia impõem um aumento na magnitude das correntes de maré (Chalcaltana et al., 2003; Rigo, 2004). As Formas de Fundo Irregulares (Fig. 6) são caracterizadas por um fundo de baixa a média intensidade com formas de fundo tipo dunas subaquosas irregulares presentes no registro sonográfico. A distribuição deste último padrão é restrita às proximidades do delta do RSMV (média intensidade) e a trechos da inflexão morfológica da Baía de Vitória (baixa intensidade). Veronez Jr. (2009) classifica este depósito como lama arenosa mista regressiva, uma vez estudos da comunidade de foraminíferos (Almeida, 2009) e análises composicionais do sedimento (Veronez Jr., 2009) apontam que estes depósitos seriam remanescentes do processo erosivo que formou o canal central do estuário.

Os Afloramentos Rochosos (Fig. 7) têm como característica

principal o padrão irregular de altíssima intensidade de retorno do sinal acústico, e estão distribuídos ao longo de toda a área de estudo, predominando na região do canal do porto e na inflexão da Baía de Vitória.

Os registros sísmicos apresentaram grande correlação com o material de fundo da Baía de Vitória, sendo possível identificar quatro ecocaráteres sísmicos e relacioná-los com as respectivas características granulométricas de fundo e padrões sonográficos (Pizzin, 2008), assim como ilustra a Figura 8.

O ecocaráter Plano de Baixa Penetração (Fig. 9) é representado na sísmica por um fundo sedimentar de alta reflexão com pouca ou nenhuma penetração do sinal acústico nos sedimentos de fundo, sem refletores de subfundo visíveis, podendo apresentar ou não formas de fundo associadas, como dunas subaquosas. O ecocaráter Plano de Alta Penetração (Fig. 10) é representado nos registros sísmicos por um fundo sedimentar que permite grande penetração do sinal acústico e apresenta vários refletores de subfundo de fácil visualização.

O ecocaráter Plano de Baixa Reflexão (Fig. 11) é representado na sísmica por um fundo sedimentar com baixa reflexão de sua superfície, seguindo por uma fácies sísmica tipicamente transparente. A base desta camada transparente é marcada por uma superfície de subfundo de grande reflexão, a partir da qual o sinal acústico apresenta pouca ou nenhuma penetração, e não é mais observado refletores de subfundo. Este ecocaráter está restrito aos trechos de maior influência antrópica, onde os lançamentos de esgoto e a diminuição da hidrodinâmica junto ao fundo provocada pelas dragagens propiciam a deposição de sedimentos lamosos. Este ecocaráter, pelas características de baixa reflexão da superfície deste fundo sedimentar apresentadas na sísmica, pode ter relação com depósitos de lama fluida. A lama fluida é um estado do sedimento lamoso intermediário entre o fundo lamoso e o material particulado em suspensão, onde, apesar de ter altas densidades, o depósito apresenta as características e o comportamento de um fluido.

O quarto e último ecocaráter, classificado como Hiperbólico/Irregular de Altíssima Reflexão (Fig. 12), é representado nos registros sísmicos pelo fundo altamente refletivo contendo geometria hiperbólica ou irregular.

Realizando a correlação dos registros geofísicos e de suas interpretações, separou-se quatro ecofácies distintas, que estão descritas a seguir e expostas em mapa na Figura 13.

A ecofácies Tipo 1 é caracterizada por um fundo de baixa penetração do sinal acústico e uma superfície de alta reflexão, onde podem ou não ser encontradas dunas subaquosas e não é possível se observar refletores de subfundo. Esta ecofácies

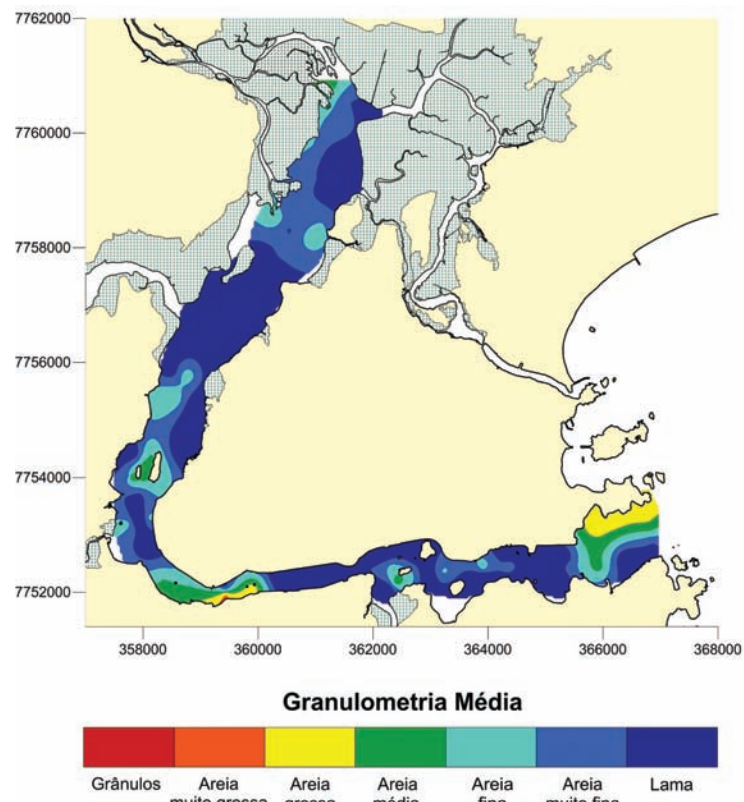


Figura 2 – Mapa de granulometria média da Baía de Vitória.

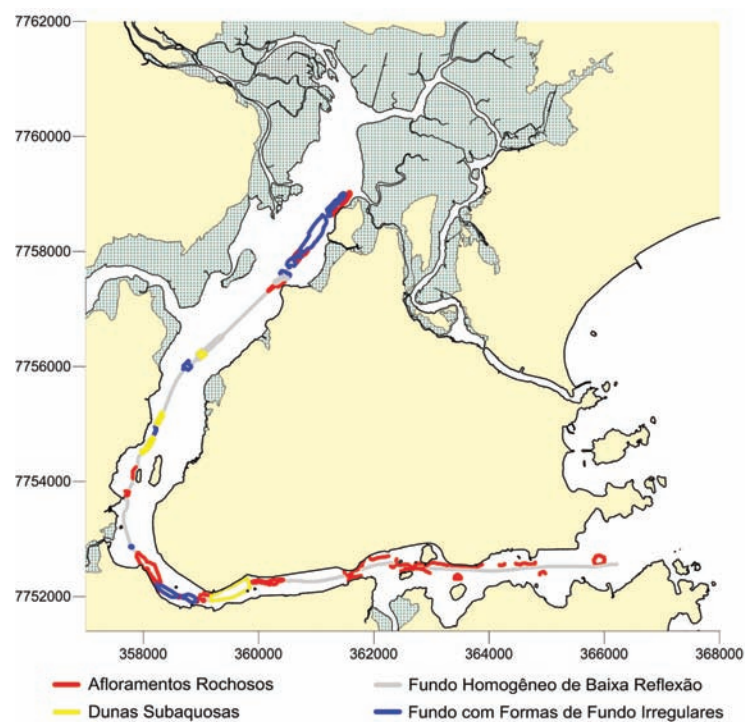


Figura 3 – Mapa da Baía de Vitória, mostrando a cobertura do levantamento e a distribuição dos padrões sonográficos.

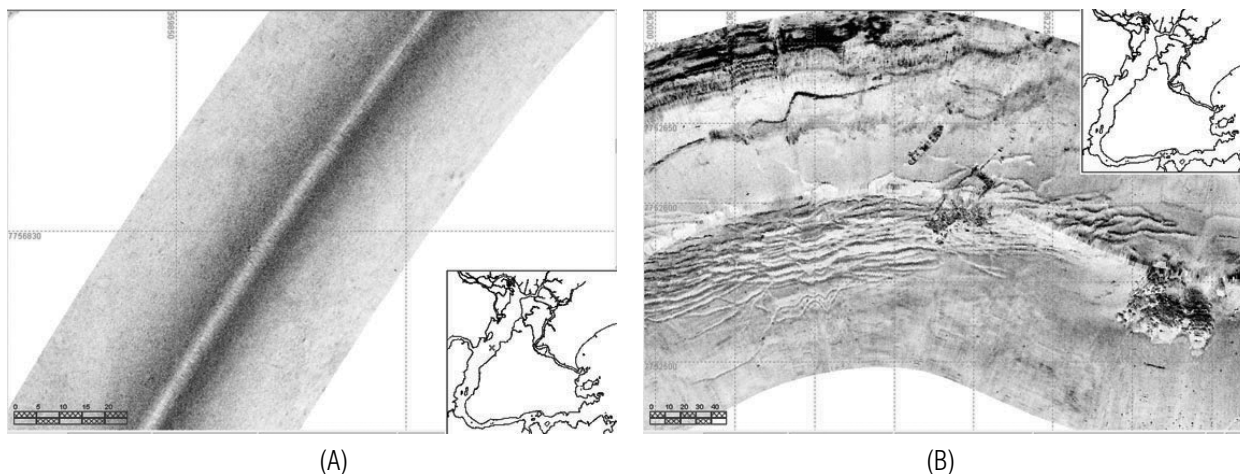


Figura 4 – Exemplos do padrão sonográfico Fundo Homogêneo de Baixa Intensidade (A) sem alterações e (B) com alterações antrópicas.

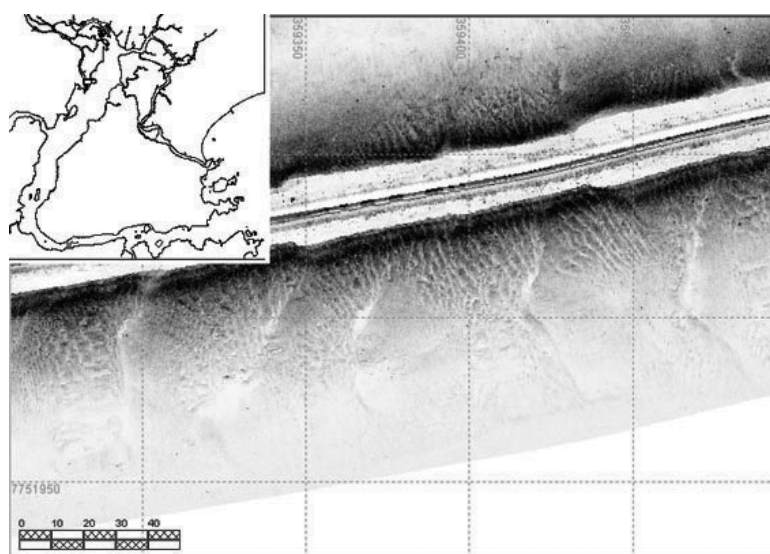


Figura 5 – Exemplo do padrão sonográfico Dunas Subaquosas.

é representada na sísmica pelo ecocaráter Plano de Baixa Penetração, e representada nos registros de sonar pelos padrões Fundo Homogêneo de Baixa Intensidade e Dunas Subaquosas. Esta ecofácies está relacionada a sedimentos arenosos, e sua distribuição engloba todo o estuário, predominando nas regiões da entrada da baía e a área da inflexão da Baía de Vitória.

A ecofácies Tipo 2 é caracterizada por um fundo de alta penetração do sinal acústico e uma superfície de reflexão cuja intensidade de retorno do sinal é variável, onde são visíveis refletores de subfundo. Na sísmica, esta ecofácies é representada pelo ecocaráter sísmico Plano de Alta Penetração, enquanto que nos sonogramas, esta ecofácies é representada tanto pelo padrão de Fundo Homogêneo de Baixa Intensidade quanto pelo padrão de

Formas de Fundo Irregulares de média intensidade, presente nas proximidades do delta do RSMV. Esta ecofácies é abundante na região interna da Baía de Vitória, e está relacionada a um material de fundo lamoso a areno-lamoso.

A ecofácies Tipo 3 é caracterizada por um fundo de baixa reflexão do sinal acústico, com presença de um único refletor de subfundo de alta reflexão, a partir do qual não são visíveis mais refletores. Esta ecofácies é representada na sísmica pelo ecocaráter Plano de Baixa Reflexão e nos registros de sonar pelo padrão de Fundo Homogêneo de Baixa Intensidade. Os sedimentos encontrados nas regiões onde ocorre este ecocaráter são predominantemente lamosos.

A última ecofácies caracterizada é a Tipo 4, que apresenta

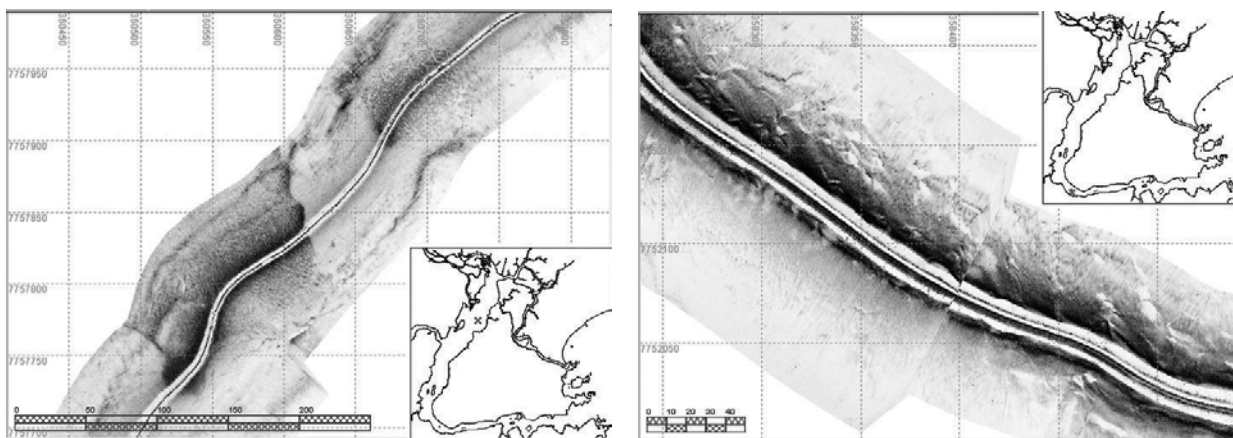


Figura 6 – Exemplos do padrão sonográfico Formas de Fundo Irregulares.

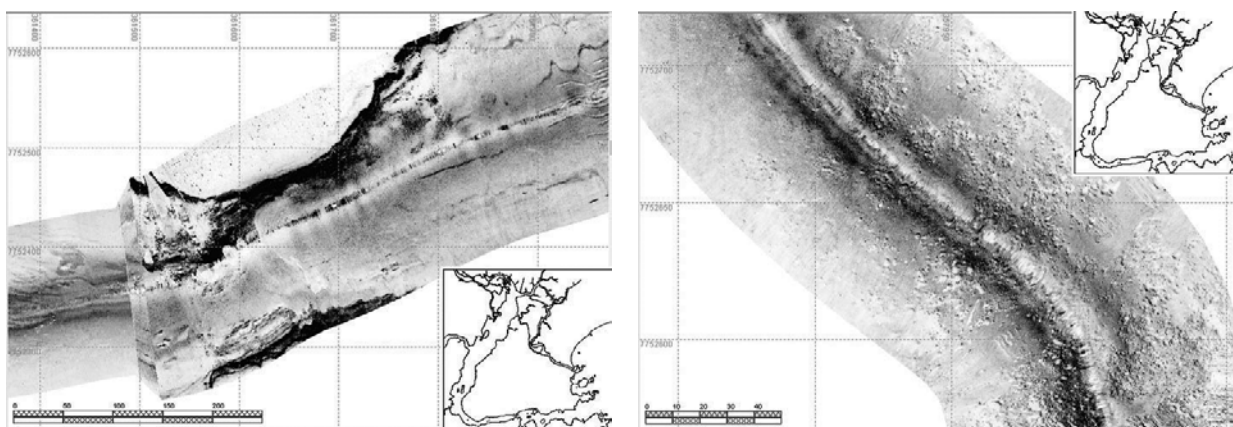


Figura 7 – Exemplos do padrão sonográfico Afloramentos Rochosos.

altíssima reflexão, nenhuma penetração do sinal acústico, e geometria de fundo irregular e/ou hiperbólica. Nos sonogramas, esta ecofácies está representada pelo padrão Afloramentos Rochosos, e nos registros sísmicos pelo ecoaráter Hiperbólico/Irregular de Altíssima Reflexão, sendo associada ao afloramento de rochas do embasamento cristalino da região.

DISCUSSÃO

Foram classificadas quatro ecofácies distintas ao longo da Baía de Vitória. Os padrões sonográficos e os registros sísmicos apresentaram boa correlação entre si e com os materiais de fundo correspondentes. Na Tabela 1 estão exemplificados os tipos de ecofácies com os registros geofísicos e a classificação do material de fundo correspondente.

Contudo, o padrão sonográfico mais presente nos levantamentos, o padrão Fundo Homogêneo de Baixa Intensidade, se mostrou associado a fundos variando de areia lamosa a lama.

Isto parece ser consequência da origem comum destes sedimentos, já que Veronez Jr. (2009) indica que as diferenças granulométricas observadas em grande parte da Baía de Vitória são consequência dos diferentes níveis de alteração de sedimentos de características semelhantes, que pela retirada dos sedimentos lamosos pelas correntes e concentração do carbonato biogênico autóctone cria diferenças granulométricas perceptíveis. Isto é corroborado pela análise sísmica das seções transversais ao canal que mostram que o canal central do estuário forma um diastema da maré, conforme descrito por Lessa et al. (1998) em Paranaguá. Um fator importante que também pode ter influenciado esta não distinção seria o tipo de equipamento utilizado. O sonar de varredura lateral utilizado neste estudo operou na frequência de 500kHz. A utilização de um sonar operando com maior frequência (900kHz ou mais) e, consequentemente resolução, provavelmente poderia ter obtido registros distintos para areia lamosa, lama arenosa e lama.

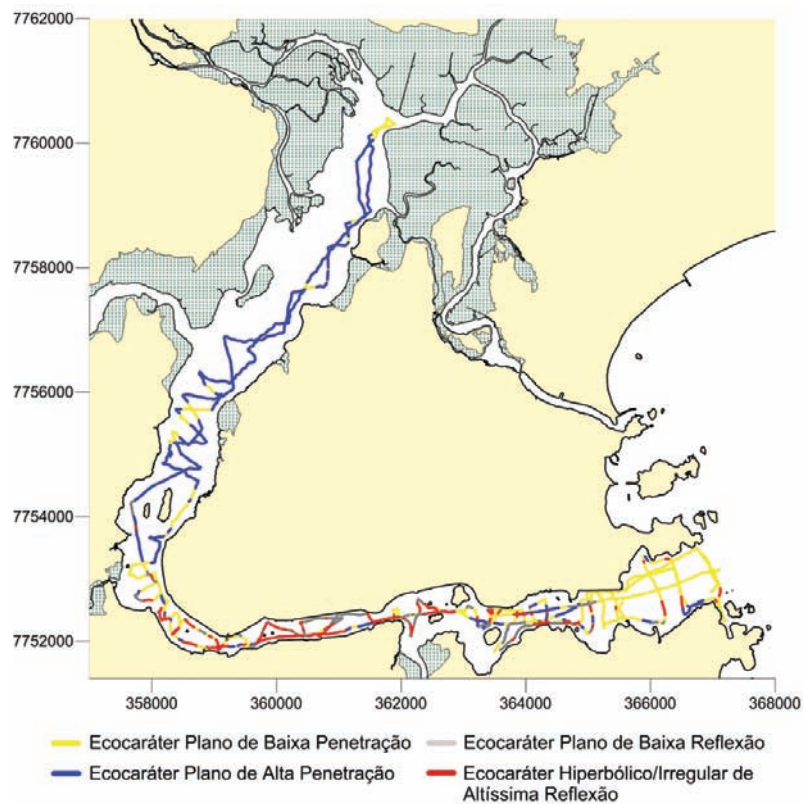


Figura 8 – Mapa da Baía de Vitória, mostrando a distribuição dos ecocaráteres sísmicos obtidos pelo perfilador de subfundo Stratabox 10kHz.

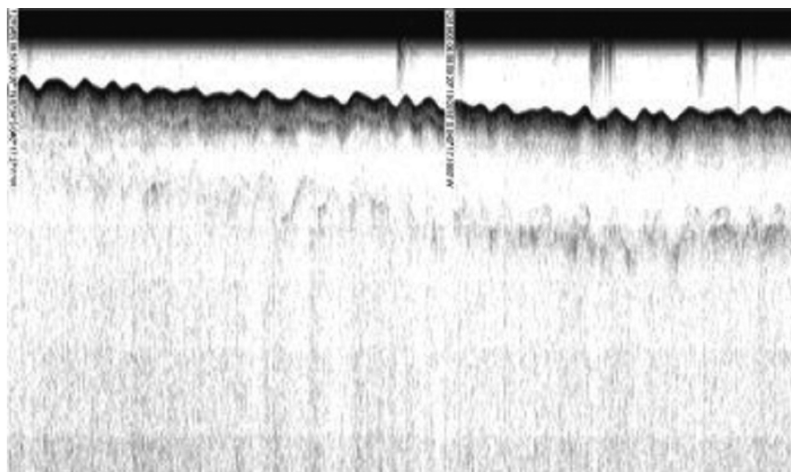


Figura 9 – Exemplo do ecocaráter sísmico Plano de Baixa Penetração.

Observou-se ainda que em alguns pontos ocorrem divergências das características do eco refletido do imageamento do fundo, se comparado à sísmica de alta resolução, assim como ilustra a Figura 14. Em áreas onde o padrão sonográfico é de baixa intensidade, espera-se observar a ocorrência do ecocaráter plano

de alta penetração, que estaria associado a sedimentos arenolamosos determinando a ecofácies Tipo 2.

Uma explicação para esta não correlação dos métodos neste ponto do estuário pode estar relacionada à presença de gás nos sedimentos de fundo do canal. O ecocaráter típico da presença

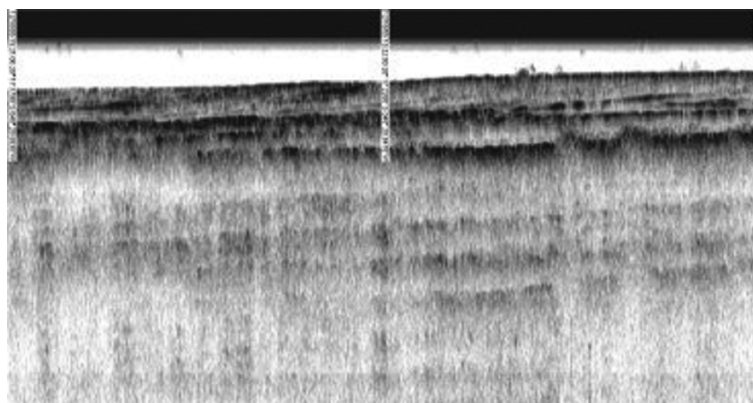


Figura 10 – Exemplo do ecocaráter sísmico Plano de Alta Penetração.

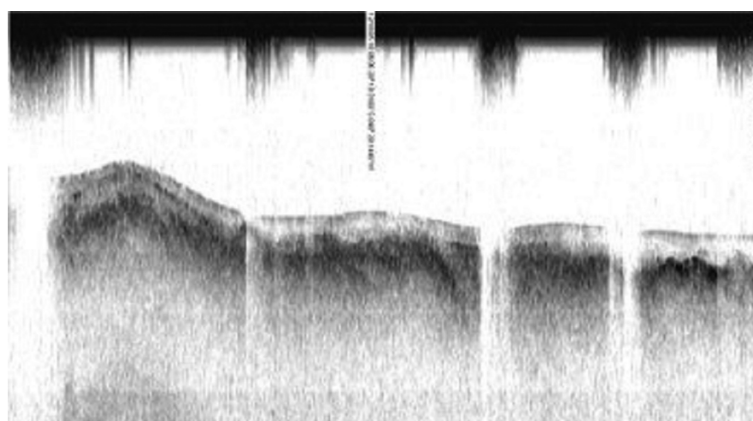


Figura 11 – Exemplo do ecocaráter sísmico Plano de Baixa Reflexão.

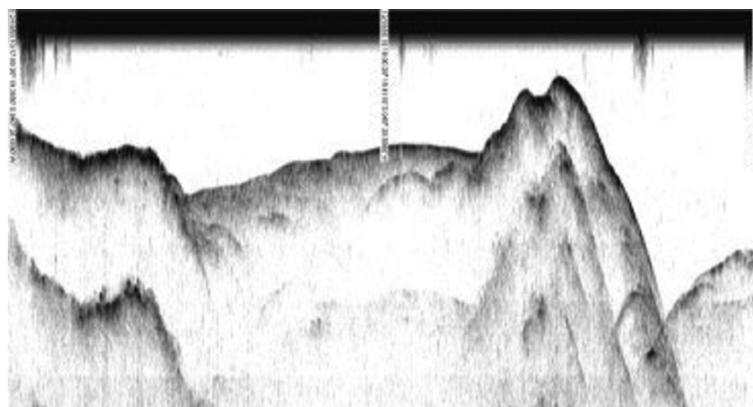


Figura 12 – Exemplo do ecocaráter sísmico Hiperbólico/Irregular de Altíssima Reflexão.

de gás já foi descrito por diversos autores (Catanzaro et al., 2004, García-García et al., 2004, Giagante et al., 2008). Outras explicações plausíveis partem do conhecimento da área no que tange o significado morfológico do fundo. Sendo assim, a diferente compactação dos sedimentos subsuperficiais poderia dar

esta característica ao eco. Segundo Quaresma et al. (2000), areias muito finas lamosas, quando bem compactadas, apresentam padrão sonográfico semelhante ao ilustrado para as Formas de Fundo Irregulares. Os estudos realizados por Veronez Jr. (2009) mostram que esta compactação é plausível e esperada, já

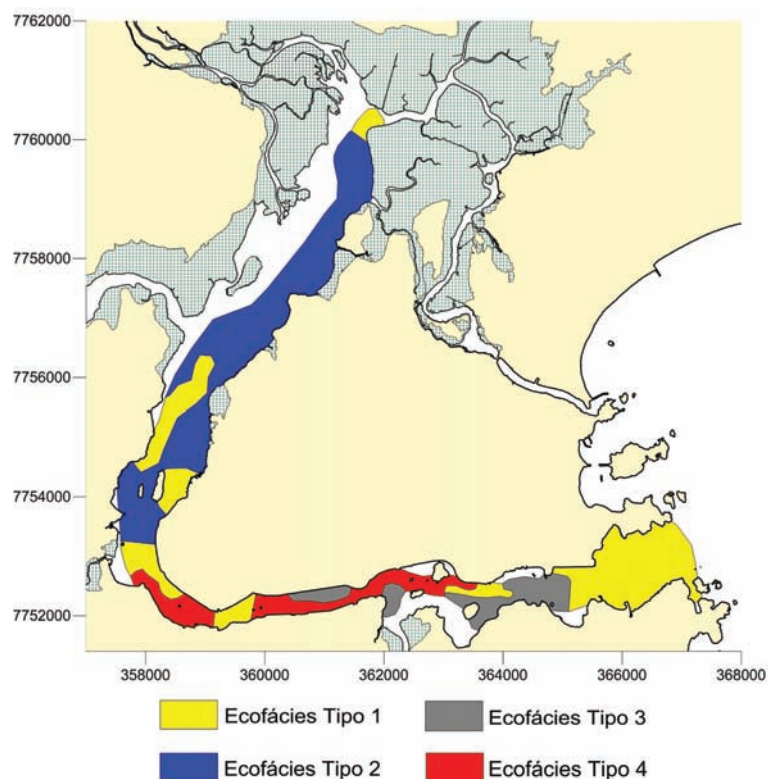


Figura 13 – Mapa da Baía de Vitória, mostrando a distribuição das ecofácies identificadas.

que se trata de depósitos antigos remanescentes de um processo erosivo e, teoricamente, mais resistentes que as camadas removidas por este processo.

O padrão sonográfico “Dunas Subaquosas” expõe um campo de dunas de grande porte (aprox. 50m de comprimento e 3m de altura, 3D, formato composto, com dunas subaquosas médias de aproximadamente 5m de comprimento e 0,5m de altura sobrepostas e oblíquas) entre o porto de Vitória e a inflexão da baía, indicando um transporte em direção a boca do estuário. De fato, Chacaltana et al. (2003) e Rigo (2004) verificaram que as correntes dominantes durante as sizígias são as de maré vazante, enquanto que durante a quadratura, estas apresentam praticamente a mesma velocidade das correntes de maré enchente. Chacaltana et al. (2003) e Rigo (2004) também verificaram que o manguezal é responsável por um incremento na velocidade de vazante das correntes.

Não foi possível verificar a profundidade do embasamento rochoso ao longo de toda a baía, pois a espessura da camada sedimentar era maior que a capacidade de penetração do perfilador utilizado em grande parte da Baía de Vitória. Para um maior detalhamento da espessura sedimentar da baía, é necessária a utilização de outras fontes sísmicas de menor frequência. Ou-

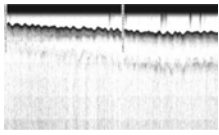
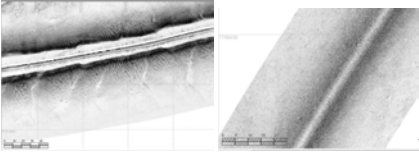
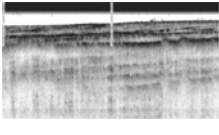
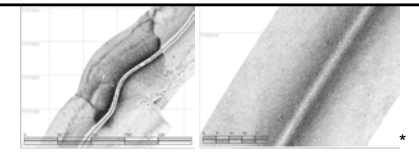
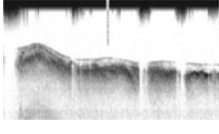
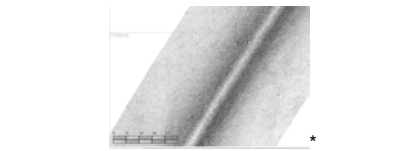
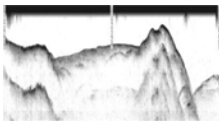
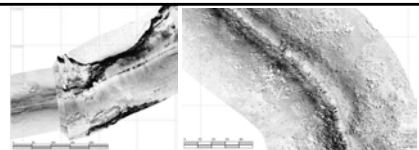
tro obstáculo ao levantamento sísmico foi à baixa profundidade da área de estudo, que compromete os registros mais profundos devido às múltiplas.

É perceptível tanto nos levantamentos geofísicos quanto nos sedimentológicos que o material sedimentar de fundo da baía é bastante diversificado, apresentando diversas particularidades. Partes destas particularidades são provocadas pelas alterações antrópicas visíveis ao longo de todo o estuário, seja pela presença de pilares de pontes, influência de aterros, enrocamentos e/ou dragagens, que alteraram a forma original do fundo e dos contornos da baía, diminuindo a dinâmica junto ao fundo e criando áreas de recirculação e estreitamentos artificiais, que ao longo do tempo alteram as características dos sedimentos localmente.

Ao final deste trabalho, notou-se que as ecofácies foram separadas prioritariamente pela sísmica, já que os registros sonográficos não permitiram visualizar todas as diferenças observadas na sísmica. Esta parece ser a decisão mais apropriada quando se trabalha em ambientes complexos onde existirem depósitos lamosos e/ou areno-lamosos bem compactados.

Uma comparação com trabalhos similares realizados em outros locais (Quaresma et al., 2000; Catanzaro et al., 2004; García-García et al., 2004) mostra que de certa forma fundos lamosos

Tabela 1 – Tipos de ecocaráteres encontrados na Baía de Vitória e suas características.

Ecofácies	Tipo de fundo	Descrição principal	Ecocaráter correspondente	Sonograma correspondente
1	Areia	Baixa penetração, sem refletores em subsuperfície. Com/sem presença de formas de fundo.		
2	Lama/ Areia-lamosa	Alta penetração, com refletores em subsuperfície. Sem presença de formas de fundo ou com formas de fundo irregulares.		
3	Lama	Superfície do fundo de baixa intensidade de retorno, seguida de um único refletor de subsuperfície altamente refletivo. Sem presença de formas de fundo.		
4	Afloramentos ou blocos de rocha	Superfície do fundo altamente refletiva, com geometria hiperbólica e/ou irregular.		

*Obs.: O padrão sonográfico Fundo Homogêneo de Baixa Intensidade se relacionou com várias características de fundo distintas, não sendo possível prendê-lo a uma ecofácies em específico.

correspondem a ecofácies com alta penetração do sinal acústico e baixa intensidade de retorno do sinal acústico emitido por sonar de varredura lateral. Por outro lado, ecofácies com maior intensidade de retorno do sinal e baixa ou nenhuma penetração do sinal acústico, representariam fundos arenosos. Vale lembrar que esta análise é válida para uma comparação da resposta acústica aos tamanhos de grão e micromorfologia. Fundos rochosos terão ecofácies bem definidas em função da alta intensidade de retorno do sinal, geralmente formando padrões rugosos em função da ocorrência de sombras acústicas e ecos hiperbólicos em função da alta refletividade e das bordas mais abruptas ou íngremes. Formas de fundo do tipo marcas onduladas ou dunas subaquosas terão ecofácies distintas em função da alternância de padrões de alta intensidade de retorno com sômbra acústica, basicamente função da micromorfologia do fundo; além disso, o fato de serem arenosas não possibilita a penetração do sinal de perfiladores de subfundo com frequências mais altas, porém apresentam um padrão ondulado ou irregular.

A análise acústica permite ainda uma interpretação do padrão de sedimentação e dos processos atuantes na Baía de Vitória (Fig. 15). A distribuição das ecofácies mostra claramente uma sedimentação arenosa na entrada da baía (ecofácies 1), o que

representaria possivelmente uma influência maior dos fatores meteo-oceanográficos, tais como, a ação de ondas, e uma menor perturbação da onda de maré (Área I na Fig. 15). Em direção ao interior do canal, as ecofácies (3 e 4) mostram tanto a influência da geologia local na morfologia do fundo (afloramentos rochosos) quanto a influência antrópica representada pela sedimentação lamosa (ocupação urbana e lançamento de efluentes) ao longo do canal de navegação (Área II na Fig. 15). Em direção ao interior da baía, a ecofácies 2 tende a predominar, caracterizando a sedimentação tipicamente estuarina (Área III na Fig. 15). Observa-se ainda a ocorrência de faixas da ecofácies 1, que também tende a ser uma resposta ao padrão de correntes no interior da baía. Onde a morfologia do entorno provoca um estrangulamento do canal de maré, o conseqüente aumento na magnitude das correntes provoca a erosão do material sedimentar mais fino (lama) e mobilização das areias no fundo.

CONCLUSÃO

A integração dos métodos geofísicos e granulométricos utilizados neste trabalho se mostrou importante e adequada para a inferência dos processos sedimentares da região de estudo.

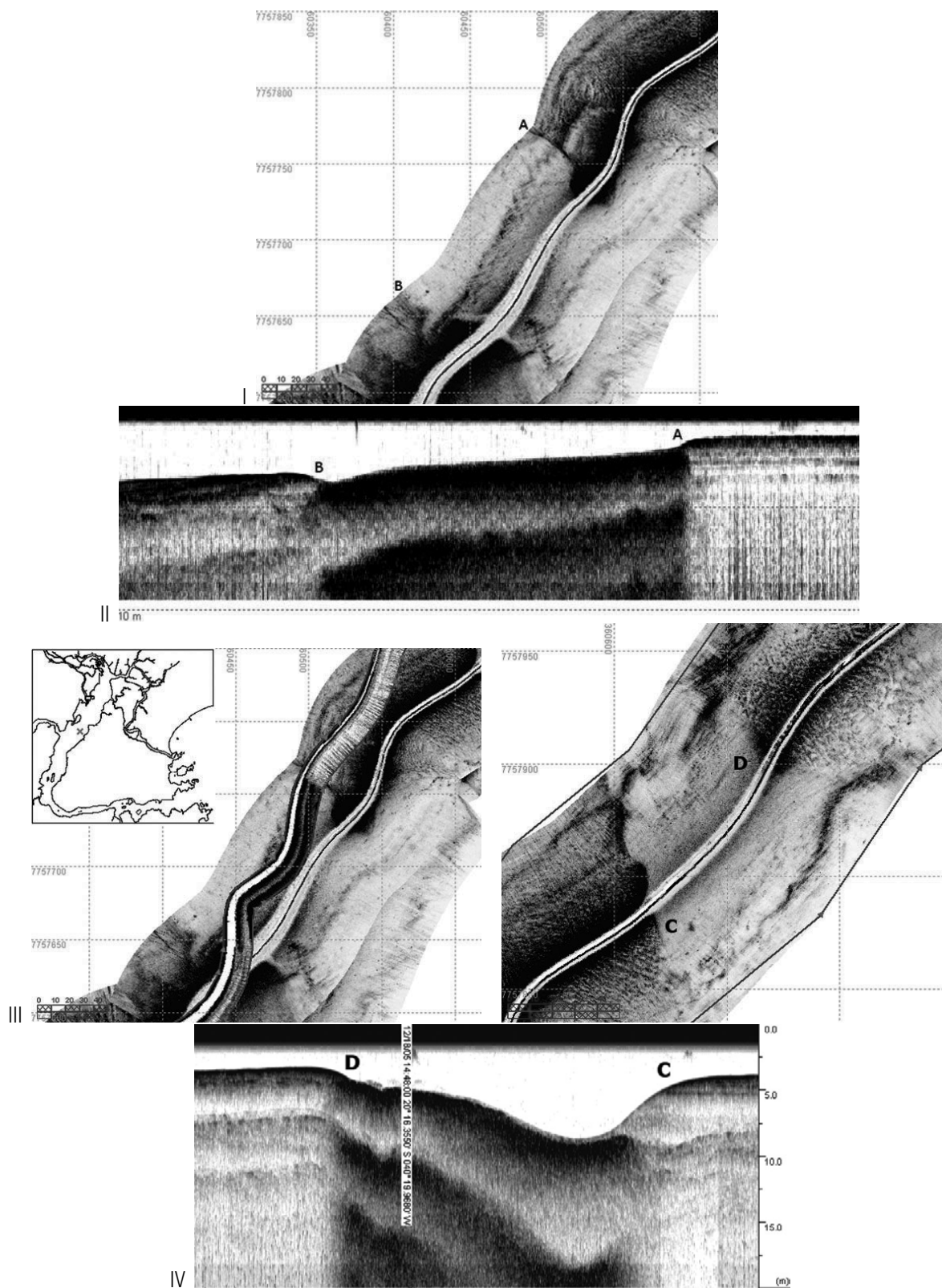


Figura 14 – Exemplos de reação acústica distinta entre os métodos geofísicos utilizados. Registros obtidos no norte da Baía de Vitória. As letras A, B, C e D indicam o intervalo recoberto pela imagem de sonar (I e III) e pelos perfis de sísmica de alta resolução (II e IV).

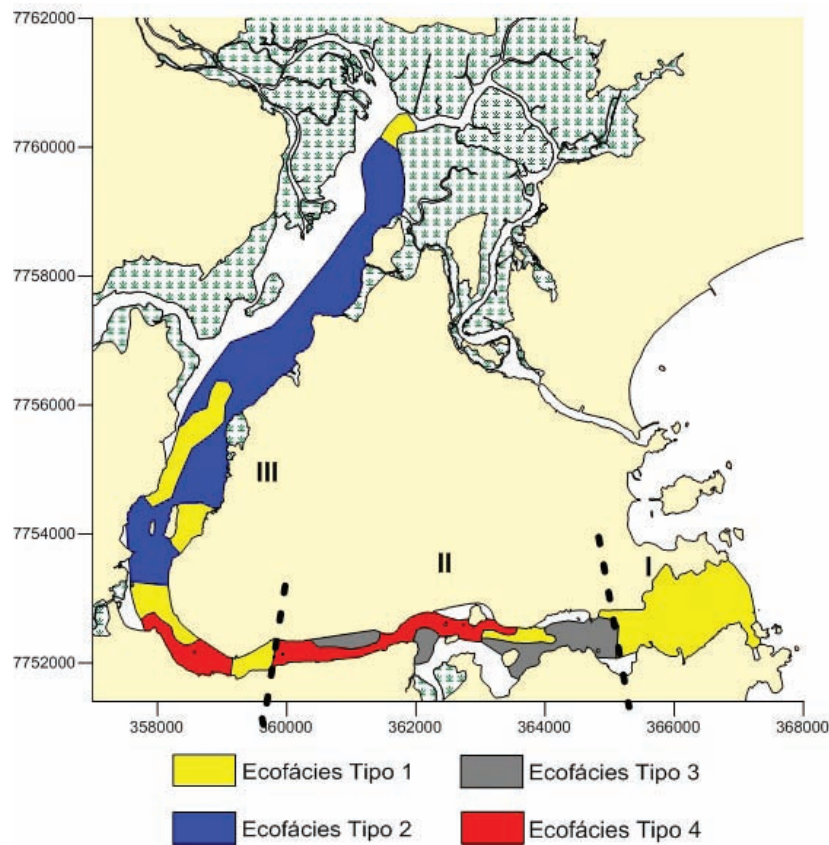


Figura 15 – Mapa de distribuição das ecofácies com a interpretação do significado destas fácies em relação à sedimentação. Área I – domínio de processos meteo-oceanográficos, maior influência de ondas; Área II – controle da geologia do embasamento local e influência antrópica no aporte de efluentes e dragagens; Área III – sedimentação estuarina com área de predomínio lamoso e área de erosão do fundo com sedimentação arenosa.

A distribuição das ecofácies se mostrou condizente com a distribuição sedimentar, apesar da não correspondência do padrão sonográfico Fundo Homogêneo de Baixa Intensidade com um tipo específico de ecocaráter sísmico, já que os três ecocaráteres de fundo sedimentar identificados na sísmica rasa corresponderam a este padrão sonográfico em ao menos algum trecho da área de estudo. Esta não correspondência foi associada à origem comum dos sedimentos, apesar dos diferentes graus de alteração impostos ao mesmo.

A ecofácies Tipo 1 se relacionou a fundos predominantemente arenosos, ou seja, está restrito apenas as regiões onde a hidrodinâmica atua selecionando e removendo as frações mais finas. A ecofácies Tipo 2 representou fundos de características lamosas a areno-lamosas, abrangendo um leque de características granulométricas distintas e, por este mesmo motivo, apresentando grande distribuição ao longo do estuário, principalmente na região entre o delta do RSMV e a inflexão geomorfológica da

baía. A ecofácies Tipo 3 foi relacionada a sedimentos lamosos de baixa compactação, abrangendo as regiões onde a deposição parece ser recente e onde possivelmente ocorrem lamas fluidas. A ecofácies Tipo 4 se relacionou aos afloramentos rochosos expostos no leito do estuário.

Esta análise de ecofácies é bastante importante para a caracterização ou mapeamento acústico do fundo marinho. A combinação dos ecocaráteres e sonogramas permitem a interpretação dos processos sedimentares atuantes no ambiente. É importante ressaltar a diferença da terminologia aplicada em estudos sísmoestratigráficos e estudos de ecofácies. O termo fácies, associado ao sinal acústico, tem como objetivo indicar a resposta acústica (tanto de um perfilador acústico quanto de um sonar de varredura lateral) do leito marinho ou estuarino em função da sua granulometria, textura, grau de compactação e morfologia. Com isso, uma ecofácies é descrita aqui como sendo a combinação de um tipo de ecocaráter (padrão de reflexão a partir de um perfila-

dor monofeixe, geralmente de alta frequência, $>3,5\text{kHz}$) com o padrão sonográfico (as intensidades de retorno do sinal acústico emitido por um sonar de varredura lateral). O termo sismofácies está inserido no estudo de estratigrafia sísmica, onde as características de continuidade, inclinação e amplitude dos refletores são descritas e interpretadas na ótica de um depósito sedimentar, ou da evolução de um ambiente.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer à Fundação de Amparo à Pesquisa do Espírito Santo (FAPES) pelo apoio financeiro (Projeto 31180787/05) e pela bolsa de mestrado do primeiro autor (PVJ). Gostaríamos ainda de agradecer ao Núcleo de Competência em Óleos Pesados (COPEP-PETROBRAS) pelo apoio financeiro e ao LAGEMAR pela parceria na aquisição sísmica.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA FK. 2009. Distribuição de Foraminíferos bentônicos ao longo de Testemunhos na Baía de Vitória, ES, Sudeste do Brasil. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Programa de Pós-Graduação em Geologia, IGEO, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 156 p.
- AYRES NETO A. 2000. Uso da sísmica de reflexão de alta resolução e da sonografia na exploração mineral submarina. *Revista Brasileira de Geofísica*, 18(3): 241–256.
- BASTOS AC, QUARESMA VS, DALMASCHIO RG, CARMO DA, SOUZA PM, LIMA B & POZZI F. 2007. Dinâmica Sedimentar e Morfologia de Fundo do Sistema Estuarino de Vitória, ES. In: Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário. 1: 2007, Belém. Anais... Belém: ABEQUA, 2007. CD-ROM.
- BELO WC, DIAS GTM & DIAS MS. 2002. O Fundo Marinho da Baía da Ilha Grande, RJ: O Relevo Submarino e a Sedimentação no Canal Central. *Revista Brasileira de Geofísica*, 20(1): 5–15.
- BLOTT SJ & PYE K. 2001. GRADISTAT: a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. *Earth Surface Processes and Landforms*, 26: 1237–1248.
- CATANZARO LF, BAPTISTA NETO JA, GUIMARÃES MSD & SILVA CG. 2004. Distinctive Sedimentary Processes in Guanabara Bay – SE/Brazil, based on the Analysis of Echo-Character (7.0 kHz). *Revista Brasileira de Geofísica*, 22(1): 69–83.
- CHACALTANA JTA, MARQUES AC, RIGO D & PACHECO CG. 2003. Influência do manguezal no padrão de escoamento do sistema estuarino da Ilha de Vitória – ES. In: V Semana Estadual de Meio Ambiente (SESMA), Vitória, 2003. CD-ROM.
- DAMUTH JE. 1975. Echo character of the western Equatorial Atlantic floor and its relationship to the dispersal and distribution of terrigenous sediments. *Marine Geology*, 18: 17–45.
- DAMUTH JE. 1980. Use of high-frequency (3.5–12 kHz) echograms in the study of near-bottom sedimentation processes in the deep-sea: a review. *Marine Geology*, 38: 51–75.
- D'AGOSTINI DP. 2005. Fácies sedimentares associadas ao sistema estuarino da Baía de Vitória (ES). Monografia, Programa de Graduação em Oceanografia, UFES, Vitória. 64 p.
- FOLK RL & WARD WC. 1957. Brazos River Bar: a study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Research*, 27(1): 3–26.
- GARCÍA-GARCÍA A, GARCÍA-GIL S & VILAS F. 2004. Echo characters and recent sedimentary processes as indicated by high-resolution sub-bottom profiling in Ría de Vigo (NW Spain). *Geo-Marine Letters*, 24: 32–45.
- GIAGANTE DA, ALIOTTA S & GINSBERG SS. 2008. Análisis Sismoestratigráfico de Paleocanales en el Subsuelo Marino del Estuario de Bahía Blanca. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 63(1): 65–75.
- LESSA GC, MEYERS SR & MARONE E. 1998. Holocene Stratigraphy in the Paranaguá Bay Estuary, Southern Brazil. *Journal of Sedimentary Research*, 68(6): 1060–1076.
- MITCHUM RM, VAIL PR & SANGREE JB. 1977. Stratigraphic interpretation of seismic reflection patterns in depositional sequences. In: PAYTON CE (Ed.). *Seismic Stratigraphy – Application to Hydrocarbon Exploration*. American Association of Petroleum Geologists, Memoir, 26: 117–133.
- MORANG A, LARSON R & GORMAN L. 1997. Monitoring the coastal environment; part III: geophysical and research methods. *Journal of Coastal Research*, 13(4): 1064–1085.
- NUNES AL. 2005. Modelo histórico das alterações fisiográficas recentes da Baía de Vitória (ES) e áreas adjacentes, com o uso de sistema de informações geográficas. Monografia de Graduação, Programa de Graduação em Oceanografia, UFES, Vitória. 81 p.
- PAOLO FS & MAHIQUES MM. 2008. Utilização de métodos acústicos em estudos de dinâmica costeira: exemplo na desembocadura lagunar de Cananéia. *Revista Brasileira de Geofísica*, 26(2): 211–225.
- PIZZIN BF. 2008. Padrão de Eco-Carateres e sua Relação com a Distribuição de Sedimentos na Baía de Vitória – ES/Brasil. Monografia, Programa de Graduação em Oceanografia, UFES, Vitória. 75 p.
- QUARESMA VS, DIAS GTM & BAPTISTA NETO JA. 2000. Caracterização da ocorrência de padrões de sonar de varredura lateral e sísmica de alta frequência (3,5 e 7,0 kHz) na porção sul da Baía de Guanabara – RJ. *Revista Brasileira de Geofísica*, 18(2): 201–214.
- RIGO D. 2004. Análise do escoamento em regiões estuarinas com manguezais – medições e modelagem na Baía de Vitória, ES. Tese, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica, COPPE, UFRJ, Rio de Janeiro. 156 p.

SOUZA LAP. 2006. Revisão crítica da aplicabilidade dos métodos geofísicos na investigação de áreas submersas rasas. Tese, Programa de Pós-Graduação em Oceanografia Química e Geológica, IO, USP, São Paulo. 311 p.

VERONEZ JR P. 2009. Ecofácies e faciologia dos sedimentos de fundo da Baía de Vitória – ES. Dissertação, Programa de Pós-Graduação em Oceanografia Ambiental, DOC, UFES, Vitória. 115 p.

NOTAS SOBRE OS AUTORES

Paulo Veronez Júnior. Graduado em Oceanografia pela UFES em 2005, mestre em Oceanografia Ambiental pela UFES em 2009, atua na área de geofísica marinha e dinâmica sedimentar.

Alex Cardoso Bastos. Geólogo graduado pela UFRJ (1994), mestre em Geologia e Geofísica Marinha pelo Laboratório de Geologia Marinha da UFF (1997), doutor em Oceanografia Geológica pela University of Southampton (2002), Pós-doutorado em Sísmica de Alta Resolução pelo National Oceanography Centre-UK (2004), desde 2004 é professor adjunto da UFES e desde 2009 é pesquisador nível II do CNPq.

Bruno Furtado Pizzin. Graduado em Oceanografia pela UFES em 2007.

Reginaldo Dalmaschio Gava. Graduado em Oceanografia pela UFES em 2007, atua na área de meio ambiente na empresa Environlink desde 2009.

Valéria da Silva Quaresma. Geógrafa graduada pela UFF (1992), mestre em Geologia e Geofísica Marinha pelo Laboratório de Geologia Marinha da UFF (1997), doutora em Oceanografia Geológica pela University of Southampton (2004), desde 2006 é professora adjunta da UFES atuando na área de dinâmica sedimentar e geofísica de alta resolução aplicada.

Cleverson Guizan Silva. Bacharel em Geologia pela Universidade Federal do Rio de Janeiro-UFRJ (1982), mestre em Geologia pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (1987) e doutor em Geologia pela Universidade Duke-EUA (1991). Atualmente é professor associado da Universidade Federal Fluminense-UFF. Seus temas de interesse inserem-se em geologia e geofísica marinha, como sistemas deposicionais marinhos e costeiros, tectônica de argilas, hidratos de gás e instabilidades do talude, diagnóstico e monitoramento ambiental em áreas marinhas e costeiras.